Aus dem Anatomischen Institut der Universität Bonn.
(Direktor: Prof. Dr. Sobotta.)

Ueber die morphologischen Pigmentverhältnisse im menschlichen Augapfel.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität Bonn.

Vorgelegt am 24. März 1930
von
HORST BINHOLD
aus Köln.

Bonn 1930
Buchdruckerei Paul Kubens Bonn, Dorotheenstr. 20.

Gedruckt mit Genehmigung der medizin. Fakultät der Universität Bonn.

Referent: Prof. Dr. S o b o t t a

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meiner lieben Mutter
in Dankbarkeit
gewidmet.

Wie in den verschiedensten Disziplinen der Medizin, so begegnet man auch dem Gebiet der normalen Anatomie manchmal falschen Darstellungen von Tatsachen, die an sich schon lange bekannt und einwandfrei erforscht sind.

Wenn wir nun irrigen Anschauungen selbst in der descriptiven Anatomie begegnen, die im allgemeinen nur solche Tatsachen als Thesen hinstellt, die man jederzeit mit dem bewaffneten, oder unbewaffneten Auge beweisen kann, so beruht dies wohl weniger auf einer falschenEinstellung der verschiedenen Autoren, als vielmehr an dem Mangel einer klaren, einheitlichen Darstellung der betreffenden Materie was häufig zu Unklarheiten und Mißverständnissen führt. Ein derartiges Gebiet auf dem — namentlich von ophthalmologischer Seite aus — nicht immer ganz richtige Darstellungen veröffentlicht wurden, ist die Frage der Farbstoffverhältnisse im menschlichen Auge.

Bevor wir nun auf die verschiedenen Beschreibungen über die Farbstoffverhältnisse des Auges eingehen, sei zunächst etwas über den im Auge vorkommenden Farbstoff selbst gesagt.

Wie alle Farben der Gewebe und Organe des menschlichen Körpers, so wird auch die Farbe des Auginnern, wenn wir von den scheinbaren Farbveränderungen durch die Blutart- und fülle abgesehen, durch das sogen. »Pigment« erzeugt.

Unter Pigment im weiteren Sinne verstehen wir also jede Farbbildung im menschlichen Körper, wozu auch die sogenannten »diffusen Pigmente«, wie der Blut- oder Gallenfarbstoff und im Auge namentlich der Sehpurpur der Stäbchen und Zapfen oder der sogen. »gelbe Farbstoff« der macula lutea gehören. Neben diesem allgemeinen Sinn versteht man unter Pigment im engeren geförmte, körnige Zelleinschlüsse, welche die Farbe der einzelnen Organe und Gewebe bedingen, soweit sie nicht durch die sogen. diffusen Pigmente hervorgerufen sind. Hierbei muß hervorgehoben werden, daß der Begriff »P i g m e n t« durchaus keine einheitliche Bildung darstellt wie manchmal, namentlich von pathologischer Seite, behauptet wird. Es gibt vielmehr mit Rücksicht auf ihr chemisches Verhalten verschiedene Arten von Pigmenten, von denen das sogen. Melaninpigment, das am meisten verbreitetste im menschlichen Körper ist und deshalb, besonders von klinischer Seite, häufig einfach als Pigment im Gegensatz zu den »andern

Farbstoffen« bezeichnet wird. Eine Abart dieses »Melaninpigmentes«, das sich durch besondere, dem Adrenalin ähnliche, chemische und pharmokologische Reaktionen auszeichnet, ist das von W. Kühne so bezeichnete »Fuscinpigment«. Die anderen Pigmentformen, z. B. das Lipofuscin und Lipochrom, spielen, da sie* im Auge nicht vorkommen, für die Farbstoffverhältnisse des Auges keine Rolle. —

Das Melanin findet sich in der mittleren und äußeren Augenhaut einschließlich der sogenannten lamina fusca oder suprachorioidea. Hauptsächlich ist es in der mittleren Augenhaut in plumpen und nur wenig verästelten Pigmentzellen, die im Bindegewebe eingelagert sind, enthalten. In der äußeren Augenhaut kommt es nur spärlich, häufiger bei pigmentierten Rassen als beim Europäer vor. Neben diesem Melanin, das im Auge in der gleichen Form, wie in den übrigen Organen, besonders der Haut, vorkommt, findet sich das Fuscin nur in der inneren Augenhaut. Die Entdeckung des Fuscins, das sich morphologisch und höchst wahrscheinlich — obwohl der sichere Beweis hierfür noch aussteht — auch chemisch vom Melanin unterscheidet, verdanken wir, wie oben bereits erwähnt, dem früheren Heidelberger Physiologen W. Kühne. Er machte zum erstenmal darauf aufmerksam, daß sich das Pigment der inneren Augenhaut, sowohl in seiner Gestalt, wie auch in seiner Farbe von dem Melanin unterscheidet. Wegen seiner braunen Farbe schlug er im Jahre 1877 deshalb den Namen »Fuscin« vor. Kühne wies damals darauf hin, daß das Pigment der Chorioidea nur

* (wenigstens nicht in körniger Form)

kugelige, kurzgedrungene und nur wenig kantige Formen zeige, während das Fuscin nur zum kleinsten Teil so amorph und zum größten Teil »mit länglich spindelförmigen oder in so gekanteten Gestalten« auftritt, »daß es für krystalinisch zu halten ist.«

Im Laufe der Besprechung werden wir sehen, daß Kühnes Behauptung, die damals von vielen Seiten angezweifelt wurde, richtig war. Tatsächlich tritt das Melanin immer in Form feinster etwa kugelförmig gestalteter Körnchen auf, während das Fuscin stets in abweichender Gestalt, nämlich entweder in Form kurzer, feiner Stäbchen oder Nadeln, oder in Gestalt gröberer, unregelmäßig gestalteter Pigmentbrocken- oder klumpen auftritt. Hinsichtlich des chemischen Verhaltens schloß sich Kühne der Ansicht K. Mays an und hielt es für einen stickstoffreichen Körper, der nach der Verbrennung wenig eisenhaltige Asche zurücklasse. Mays war der erste, der das Fuscin durch Kochen mit Alkohol, Aether und Wasser und durch 24 stündige Trypsinverdauung rein darzustellen glaubte. — Während man den Angaben Mays und Kühnes folgte und lange Zeit hindurch annahm, daß das Fuscin im Gegensatz zum nichteisenhaltigen Melanin eisenführendes Pigment sei, weiß man heute, daß das nicht der Fall ist, und daß Fuscin nur eine Abart des Melanins ist. Der Irrtum Mays beruhte wahrscheinlich auf der komplizierten Extraktionsmethode, die nur eine scheinbare Reindarstellung des Fuscins war, wobei das von ihm gefundene Eisen sicherlich aus dem Hämoglobin des

Blutes stammte. Bis heute ist es der physiologischen Chemie jedenfalls noch nicht gelungen, chemische Unterschiede der beiden Pigmentarten zu finden, obwohl die verschiedene Resistenz gegen Säuren und Bleichungsmitteln eine solche höchst wahrscheinlich macht. z. B. wird Fuscin durch naszierenden Chlor deutlich eher gebleicht als Melanin.

Wenn auch beide Pigmentformen des Auges von den meisten Autoren deutlich unterschieden werden, so zeigen doch selbst Veröffentlichungen der Neuzeit, daß eine wirklich eingehende Beschreibung des morphologischen Verhaltens der beiden Pigmentformen, besonders des der inneren Augenhaut, noch fehlt.

So finden wir noch in einer jüngst erschienenen Arbeit über die »Anatomische Grundlage der Irisfarbe« von dem Göppinger Augenarzt Münch nicht nur unklare, sondern zum größten Teil direkt irrige Anschauungen über die Farbstoffverhältnisse der Regenbogenhaut. — Zunächst sei vorausgeschickt, dass die Iris sowohl aus einem Teil der inneren, als auch aus einem Teil der mittleren Augenhaut besteht. Die hintere muskulöse Grenzlamelle, die sogen. Bruch'sche Membran, sowie die Pigmentschicht der Iris gehören zur tunica interna bulbi, das Endothel der vorderen Augenkammer, das die Vorderfläche der Iris überzieht, und das stratum proprium iridis zur tunica media bulbi. Der in der Pigmentschicht der Iris vorkommende Farbstoff besteht also aus Fuscin,

während das im stratum proprium vorkommende Pigment Melanin ist und sich sowohl morphologisch als auch chemisch nicht von dem Pigment der Epidermis unterscheidet. Eine Trennung in diese zwei verschiedenen Pigmentarten wird von Münch nicht gemacht. Neben dieser Unklarheit wird eine direkt irrige Ansicht über das Pigment der sogen. Stromazellen oder Chromatophoren, d. h. der mit Pigment beladenen Bindegewebszellen des stratum proprium iridis, vertreten. Münch ist nicht der Ansicht, dass die Farbe der Iris auf die mehr oder weniger stark pigmentierten Bindegewebszellen des stratum proprium zurückzuführen ist, was heute von fast allen Anatomen und den meisten Ophthalmologen als sicher erwiesen dargestellt wird, sondern glaubt, dass die Zahl und die Grösse der Chromatophoren sowie die Menge des in ihnen enthaltenen Pigmentes innerhalb der natürlichen Variationsbreite aller Gewebsteile eine durchaus konstante sei. Münch glaubt, dass die Beschaffenheit, er meint damit die Farbe der Pigmentkörnchen, durchaus verschieden sei. »Eine blaue Iris ist also nicht deshalb blau, weil sie weniger Pigment, geschweige denn weniger Pigmentzellen im Stroma enthielte, als eine braune, sondern nur durch die fast farblose Beschaffenheit der Pigmentkörnchen«. Somit kommt der Autor zu der, man möchte fast sagen paradoxen, Behauptung eines »farblosen Pigments«. — Zunächst weist Münch auf die chemisch-pharmakologischen Unterschiede zwischen Iris- und Hautpigment hin. Er glaubt, dass das Pigment der Haut aufs engste in Beziehung mit dem Gallenfarbstoff stehe und betont weiter die ver-

schiedene Wirkung der ultravioletten Strahlen auf das Haut- und Irispigment. »Soviel steht von vornherein fest, dass das Stromapigment von ganz anderer Art sein muss als das Hautpigment, denn während dieses je nach der Belichtung einem raschen Wechsel in Neubildung und Schwund unterliegt, steht die Irisfarbe einmal fertig entwickelt, also vom dritten bis vierten Lebensjahre ab, im wesentlichen fürs ganze Leben fest. Eine blaue Iris ist im Sommer nicht weniger blau als im Winter, ein braune bleicht selbst im hochnordischen Winter nicht ab, wie die Haut«. Näher auf die angeblich verschiedenen chemischen Reaktionen der beiden Pigmente einzugehen, würde den Rahmen dieser rein morphologischen Untersuchung über die Farbstoffverhältnisse des Auges überschreiten. Soviel sei jedoch nur angedeutet, daß das Melanin der äußeren Haut ebenso wenig mit dem Blutfarbstoff, aus dem ja schließlich der Gallenfarbstoff hervorgeht, zu tun hat, wie das Melanin des Auges. Melanin und Hämoglobin sind nicht nur morphologisch, sondern auch physiologisch-chemisch zwei ganz verschiedene Farbgruppen. Hinsichtlich der Strahlenwirkung sei nur auf die annähernd konstante Belichtung des Auges im Gegensatz zu der äußeren Haut hingewiesen. Sodann macht Münch selbst darauf aufmerksam, dass auch das Haarpigment annähernd die gleiche Unabhängigkeit besitzt. Die Behauptung jedoch, dass das Haar sich in einem »toten Zustande« befindet und »keinerlei Stoffwechsel« besitze, dürfte durch die mannigfachen pathologischen und therapeutischen Erfahrungen schon zu nichte

gemacht werden. Man denke ferner an das rein physiologische Ergrauen des Haares im Alter, oder das Bleichen der Haare nach starken psychischen Traumen, was sicherlich durch reflektorische Störung des Stoffwechsels der Kopfhaut und damit auch des Haares erklärt werden muß.

Was das morphologische Verhalten des Pigments anbelangt, so meint Münch, wie oben bereits erwähnt, dass lediglich die Art und nicht die Anzahl der Pigmentkörnchen verschieden sei und unterscheidet in jeder Stromazelle zwei Pigmentarten, ein dunkleres Oberflächen- und ein helleres Innenpigment.

»Bei dunkelbrauner Farbe erwecken die Körnchen durch ihre bessere Sichtbarkeit täuschend den Eindruck grösserer Masse als bei blonder Farbe, und dieser trügerische Schein ist der Grund der so verbreiteten irrtümlichen Vorstellung, als ob die Irisfarbe nur der Ausdruck des jeweiligen Quantums an Pigment wäre. Die blassen oder ganz farblosen Pigmentarten können sich selbst einem geübten und aufmerksamen Beobachter ganz entziehen, ihr Dasein lässt sich aber nachweisen und mit überraschender Deutlichkeit zur Anschauung bringen, wenn man die Iris nach den Methoden von R a m o n y C a j a l oder B i e l s c h o w s k i mit Silber imprägniert: ein reich entwickeltes, kräftiges Stromazellnetz taucht alsdann in jeder blauen Iris auf, auch wo es zunächst scheinbar kaum vorhanden war. Das ganze Zellnetz erscheint dabei tief geschwärzt, weil

die Stromazellen den Silberniederschlag mit Begierde an sich reissen; und zwar ist es nicht das Protoplasma dieser Zellen, sondern die darin enthaltenen farblosen »Pigmentkörnchen«, die das Silber auffangen. Diesem Umstand ist es zuzuschreiben, daß alle Bemühungen, die Endausbreitung der Irisnerven, z. B. des N. sympathicus zu erforschen, früher vergeblich geblieben sind, bis es mir im Jahre 1905 durch ein anderes Verfahren gelang, diese Nervenendigungen sichtbar zu machen.

Bei den hellen Pigmentarten hat man meist den Eindruck, als liege das Pigment nur an der Oberfläche der Zellen, in der Mantelschicht, während das Zellinnere, bezw. der Achsenteil der Fortsätze, viel blasser und scheinbar ganz pigmentlos seien. Durch die Silberimprägnation stellt sich aber heraus, daß auch das Zellinnere mit Körnchen erfüllt ist. Demnach gibt es hier in jeder Zelle zwei Pigmentspielarten, ein dunkleres Oberflächenpigment und ein helleres Innenpigment«.

Die Beobachtung, dass in »jeder blauen Iris ein reich entwickeltes, kräftiges Stromazellennetz« auftaucht, ist eine durchaus richtige; ja man kann sogar noch hinzufügen, dass nicht nur in einer blauen, sondern auch in einer braunen Iris neben pigmentierten noch eine grosse Anzahl unpigmentierter, verzweigter Zellen auftreten. Den einzigen Beweis, den Münch für seine Theorie anführt ist die Behauptung, dass bei der Bielschowski'schen Silberprägnations-

methode nicht das Protoplasma der Stromazellen, sondern die »farblosen Pigmentkörnchen« das Silber auffingen. Diese Behauptung wird und kann jedoch von Münch nicht bewiesen werden; wohl kann man den Gegenbeweis antreten, indem man nicht nur das Protoplasma der Irischromathophoren, sondern auch noch das anderer Bindegewebszellen mit Silber, ebenso wie mit anderen Edelmetallen z. B. Gold, Osmium, Platin imprägnieren kann. Die Folge dieser falschen Behauptung ist, daß Münch unter dem Pigment der Chromatophoren nicht mehr das versteht, was man sonst anatomisch als Pigment bezeichnet, nämlich einen Farbstoff, sondern einen teils »isotrope, teils anisotrope Substanz,« die bestimmte biologische Funktionen zu verrichten habe. Weiter meint der Autor, was Verfasser dieser Arbeit nicht bestätigen konnte, eine regelmässige zierliche Anordnung der Körnchen in queren, sehr schmalen Zonen feststellen zu können, die auf ihn das Bild einer Querstreifung machten. Schließlich glaubt er auch noch »die übrigen morphologischen Kriterien der Muskelfaser« gefunden zu haben, was ihn zu der Behauptung bringt, daß die Chromatophoren im stratum proprium iridis Muskelzellen seien. — Was Münch dazu brachte, in den Stromazellen alle Kriterien der Muskelfaser zu finden, dürften wahrscheinlich die in der hinteren Gefäß- und Muskelschicht des stratum proprium iridis zwischen den zahlreichen Gefäßen und Pigmentzellen vereinzelt laufenden Muskelfasern gewesen seien.

Bei genauer Beobachtung wird man jedoch feststellen können, daß diese stellenweise im stratum proprium iridis auftretende glatte Muskulatur nichts

mit den mit Pigment beladenen Bindegewebszellen, den Chromatophoren, zu tun hat. — — Ist einmal in einer wissenschaftlichen Feststellung ein Irrtum unterlaufen, so bauen sich hierauf leicht noch falschere Hypothesen oder sogar Behauptungen auf. So ging es wohl auch dem Verfasser der oben genannten Arbeit, wenn er in den Chromatophoren als solchen einen neuen muskulus dilatator pupillae entdeckt zu haben glaubte und schließlich ohne jeden Grund und ohne den geringsten Beweis annimmt, daß die Pigmentkörnchen »lecithinähnliche Gebilde« und »Träger elektrischer Kräfte seien.«

Irrtümer über die anatomischen Pigmentverhältnisse des Auges finden wir jedoch nicht nur in einzelnen Arbeiten, wie z. B. der von Münch, sondern selbst in größeren Hand- und Lehrbüchern der Ophthalmologie. Dieser Umstand ist umso bedenklicher und mehr zu bedauern, weil eine große Anzahl kleinerer Lehrbücher und Kompendien in ihrer Darstellung auf derartige größere Werke zurückgreifen, da es den meisten Verfassern nicht möglich ist, das große Gebiet, das sie in ihren Büchern behandeln, selbst durch eigene Versuche oder anatomische Beobachtungen nachzuprüfen. Ein derartiges Werk, auf das nachweislich eine Reihe von kleineren Lehrbüchern zurückgreift, ist das sonst so hervorragende Lehrbuch des Wiener Ophthalmologen Ernst Fuchs. Es scheint deshalb angebracht einmal wörtlich zu zitieren, was Fuchs in seinem Lehrbuch der Augenheilkunde 1922 über die Pigmentverhältnisse des Auges berichtet. »Das gesamte Pigment, das in so

reichlicher Menge im Auginnern vorhanden ist, gehört zwei Kategorien an. 1) Im Gewebe der Uvea finden sich überall verzweigte Zellen, (Münch Muskelzellen) die Pigmentkörnchen enthalten. Dies sind die Chromatophoren (Stromapigmentzellen) und das in ihnen enthaltene Pigment wird als Stromapigment oder, weil es durchweg in der Uvea selbst liegt, als uveales Pigment bezeichnet. 2) Die innere Oberfläche der Uvea ist überall von einer Schicht pigmentierter Zellen ausgekleidet, welche der Retina angehören und den Charakter von Epithelzellen besitzen (Pigmentepithel.) Dieses Pigment, welches also nicht in der Uvea, sondern nach innen von ihr liegt, heißt Retinales oder Epithelpigment. Diese zwei Arten von Pigment unterscheiden sich auch durch ihre feinere Beschaffenheit. Das Pigment der Chromatophoren besteht aus kleinen amorphen Klümpchen; die Körnchen des Pigmentepithels (Fuscin) dagegen sind kurze, stäbchenförmige Gebilde, die wahrscheinlich als kleine Kristalle angesehen werden müssen, wie sie bei einigen niederen Wirbeltieren sehr deutlich ausgeprägt vorkommen. Die pigmentführenden Zellen, sowohl die Chromatophoren als die Zellen des Pigments, sind in allen Augen in gleicher Weise vorhanden, aber die Menge des Pigments, welches sie enthalten, ist sehr verschieden. Dadurch ist die ungleiche Pigmentierung der Augen bedingt. Wenn die Zellen gar kein Pigment enthalten, so ist das Auge albinotisch. Der dem freien Auge auffällige Unterschied in der Farbe zwischen der braunen Aderhaut und dem schwarzen Orbiculus ist nicht verschiede-

nen Pigmenten dieser Teile der Uvea zuzuschreiben, sondern einer Verschiedenheit des sie bedeckenden Epithels«. Die Einteilung in uveales und retinales Pigment, wie sie Fuchs gibt, ist eine sehr unklare, zumal in der Uvea neben dem Melaninpigment — das sich nicht nur hier, sondern auch in der äusseren Augenhaut und in der ganzen Hautdecke findet — in dem retinalen Anteil auch Fuscin, also von Fuchs sogenanntes »retinales Pigment« vorkommt. Das von dem Autor so bezeichnete retinale Pigment liegt, wie er nicht ganz richtig schildert, also nicht nur nach innen von der Uvea, sondern wenn man die Pigmentschicht der corpus ciliare noch zur Uvea rechnet in der Uvea selbst. Schließlich ist der dem freien Auge auffällige Farbunterschied zwischen dem Orbiculus ciliaris und der übrigen nur rötlich-braun erscheinenden Chorioidea nicht im wesentlichen durch eine »Verschiedenheit des sie bedeckenden Epithels« als vielmehr durch das Müller'sche Reticulum bedingt. Die Zellen sind hier zwar höher und stärker mit Pigment erfüllt, was in Bezug auf die Farbunterschiede jedoch eine viel geringere Rolle spielt, als die zahlreichen knospenartigen Ausbuchtungen in die bindegewebige Grundschicht des Ciliarkörpers.

In der Arbeit des Berliner Ophthalmologen E. Krückmann »Anatomisches über die Pigmentepithelzellen der Retina« finden wir ebenfalls vereinzelte Angaben, die zu Mißverständnissen führen können und deshalb auch einer Klarstellung bedürfen. Krückmann bezeichnet die Pigmentepithelien als »Deckzellen der Aderhaut,« was zu der Annah-

me führen könnte, und bei vielen Praktikern tatsächlich auch dazu geführt hat, daß das Pigmentepithel zur Chorioidea gehöre. Als Beweis wird häufig die Tatsache angeführt, daß das Pigmentepithel der Chorioidea viel fester anliegt, als der Retina, von der es sich relativ leicht trennen läßt. Außerdem wird von vielen die Behauptung damit begründet, daß die Pigmentschicht nur von der Chorioidea und nicht von den retinalen Gefäßen mit Blut versorgt werde. Es sei deshalb ausdrücklich hervorgehoben, daß das Pigmentepithel, das äußere Blatt des Augenbechers, sicher, und wahrscheinlich auch die zur Bruch'schen Membran gehörige lamina basalis chorioideae entwicklungsgeschichtlich zur Retina gehören. Die festere Verbundenheit mit der Aderhaut ist kein wissenschaftlicher Gegenbeweis und hinsichtlich der Blutversorgung weist Krückmann selbst darauf hin, daß selbst ein großer Teil der Netzhautzellen von der Aderhaut versorgt und nur die inneren Schichten der Retina von den in ihr gelegenen Gefäßen selbst ernährt werden. Krückmann hebt als besonderes Charakteristikum der Pigmentepithelien hervor, dass sie die einzigen »Zylinderzellen« seien, die kein Lumen umkleiden. Hierzu ist zu sagen, daß die Pigmentepithelien eigentlich gar keine ausgesprochenen Zylinderzellen, als vielmehr ein einschichtiges kubisches Epithel darstellen, das an den einzelnen Stellen verschieden hoch ist und ursprünglich ja doch einen Hohlraum, den der primären Augenblase auskleidete. Ferner gibt der Autor an, daß die Pigmentierung der Pigmentepithelien mit Ausnahme der albinoti-

schen Individuen eine gleichmäßige sei. Diese Beobachtung konnte, wie wir unten sehen werden, vom Verfasser dieser Arbeit nicht ganz bestätigt werden. Das Pigment macht zwar bei schwacher Vergrößerung den Eindruck einer ziemlich regelmässigen Anordnung, liegt jedoch, wie man bei stärkerer Vergrößerung beobachten kann, ziemlich regellos im Zelleib durcheinander. Als drittes Charakteristikum, das nur für die retinale Pigmentzelle zutreffe, nennt Krückmann die Tatsache, daß normaler Weise bei dem Pigmentepithel der Netzhaut kein Zelltod eintreten könne und bis jetzt noch kein Zellersatz nachgewiesen worden sei. Diese Beobachtung ist zwar richtig, aber nicht etwa für die Farbstoffzelle der inneren Augenhaut charkteristisch. Bei anderen einschichtigen kubischen Epithelien, wie z. B. in den kleineren Ausführungsgängen vieler Drüsen, oder dem aufsteigenden Teil der Henle'schen Schleife in der Niere oder im Mittelohr, ist ebenfalls noch kein normaler Zelltod mit anschließendem Zellersatz beschrieben.

Zu größeren Irrtümern als die Mißverständnisse durch die Krückmann'sche Arbeit führten die ungefähr zur selben Zeit aufgestellten Behauptungen des früheren Heidelberger Ophthalmologen Th. L e b e r. Auf ihn griff nicht nur Karl A n g s t e i n in seiner Arbeit »Pigmentstudien am lebenden Auge« zurück, sondern auf seine Anschaungen stützt sich auch heute noch — namentlich bei älteren Augenspezialisten — manche verworrene Ansicht über die Pigmentepithelien des Auges. Durch die unten noch näher zu er-

wähnende Phototropie des Pigmentepithels, die infolge mangelhafter Versuchsmöglichkeit beim Menschen übrigens noch nicht sicher beobachtet werden konnte, wurde L e b e r veranlasst, in den sogenannten retinalen Pigmentepithelien Phagocyten zu sehen, die sogar Erythrocyten auffressen und in Pigment umwandeln sollten. »Eine Wanderung von Pigment aus dem inneren Pigmentdepot des Auges in die Oberfläche ist keinesfalls selten. Es kann nicht befremden, daß die Elemente des Pigmentepithels hier die Rolle von Phagocyten spielen und rote Blutkörperchen aufnehmen und in Pigment umwandeln.« Auf diese Anschauung fußend kommt A n g s t e i n dann zu der Behauptung, daß der Farbstoff im stratum pigmenti retinae weiter nichts als ein Derivat des Blutfarbstoffes sei. »Es kann jedenfalls kein Zweifel sein, daß Pigmentepithel und Extravasat zur Pigmentbildung führen.«

Erwähnt seien schließlich noch ältere Annahmen, wonach die Pigmentkörper Elementarorganismen mit eigenem Stoffwechsel oder leblose Zelleinschlüsse, z. B. Niederschlags- oder Assimilationsprodukte, seien. Derartige Angaben, die in der modernen Literatur allerdings nur noch vereinzelt zu finden sind, entbehren jeglicher Begründung. Dagegen spricht, daß die Pigmentkörnchen in fasst allen Pigmentzellen einunddesselben Individuums stets in annährend konstanter Zahl, in großer Regelmäßigkeit und typischer Anordnung auftreten. Außerdem besitzen sie ein großes Widerstandsvermögen gegen Chemikalien, haben bei vielen Tieren Kristallform und zeigen keinerlei intra-

cellulären Verbrauch oder gar aktive Bewegung im freien Zustand.

Neben dieser Zusammenstellung der morphologischen Meinungsverschiedenheiten über das Pigmentepithel seien die pharmakologischen oder physiologisch-chemischen nur soweit erwähnt, wie sie Folgen für die rein anatomische Darstellung haben. In einer im Jahre 1923 erschienenen Arbeit über die »Pigmentgenese im Auge« nimmt Miescher zunächst irrtümlicherweise den Namen »Fuscin« der ungefähr 50 Jahre vorher von Kühne geprägt wurde, für sich in Anspruch. Sodann weist er eine Unterscheidung der beiden Pigmentarten des Auges ab, da nach Mays der Eisennachweis des Pigments der inneren Augenhaut selbst mit den feinsten mikrochemischen Eisenreaktionen (Perls, Tiermann, Schmelzer) nicht mehr erbracht werden konnte. Eine morphologische Unterscheidung glaubt er ablehnen zu müssen, da nach seiner Behauptung einunddasselbe Pigment bei verschiedenen Menschen in verschiedenen Formen auftreten könne. »Wenn wir die kugel- und stäbchenförmigen kristalloiden Pigmentelemente des Pigmentblattes als etwas anderes betrachten wollen, als die Pigmentkörner der Conjunctiva, dann sind wir gehalten, ähnliche Unterscheidungen auch zwischen den verschiedenen Hautpigmenten bei Menschen und Tieren zu machen, die ebenfalls große Differenzen aufweisen (Stäbchen, Kugeln usw.). Damit aber müßten wir den einheitlichen Begriff des Melanins vollständig aufgeben«. Diese Behauptung würde von Miescher wohl kaum anatomisch bewiesen werden

können, da sowohl nach Untersuchungen von anatomischer wie auch zoologischer Seite bei Menschen stets und bei den Tieren von wenigen Ausnahmen abgesehen immer das Melanin in annährend gleicher Form und Größe auftritt. Die Formunterschiede der im Auge vorkommenden Pigmente sind jedoch so konstant und deutlich, daß vom rein anatomischen Gesichtspunkte aus unbedingt eine Trennung der beiden Pigmentarten gerechtfertigt ist. In seiner Arbeit versucht Miescher seine Behauptung über die Gleichheit des Haut- und Augenpigments durch die sogenannte »Dopa«-Reaktion zu begründen. Die Tatsache, daß die Oxydase-Reaktion nur in den ersten Embryonalmonaten positiv und im späteren Leben im Auge stets negativ ausfällt, glaubt der Autor dadurch zu erklären, daß bei den »biologisch stabileren Verhältnissen im Auge« die gesuchte Oxydase nicht mehr vorhanden sei. Er beruft sich hierbei auf pathologische Befunde, wo man in Melanomgeweben, wie überhaupt bei jeder akuten Proliferation des pigmentbildenden Gewebes, einen positiven Ausfall der Reaktion beobachten könne. Hierzu ist jedoch zu sagen; daß: 1) die Dopa-Reaktion eine an sich durchaus unsichere ist, was heute selbst von Dermatologen, die vor einigen Jahren die eifrigsten Verfechter der Oxydase-Reaktion waren, zugegeben wird, 2) daß der negative Ausfall in dem Pigmentepithel des entwickelten Auges eigentlich nur ein Beweis für eine Verschiedenheit der an sich nah verwandten Pigmente ist, 3) würde selbst ein positiver Ausfall im entwickelten Auge nur eine gleiche chemisch-

pharmakologische Reaktion zweier morphologisch verschiedener Dinge beweisen.

Vieles läßt sich auf dem Gebiet der anatomischen Wissenschaft besser im Lichte der Entwicklungsgegeschichte beschreiben und manche Tatsache nur embryologisch erklären. Es ist daher auch verständlich, daß eine Reihe falscher Auffassungen und unrichtiger Beschreibungen über die Pigmentverhältnisse des Auges auf einer irrigen Vorstellung über die Genese des Pigmentes beruhen. Da in der vorliegenden Arbeit jedoch nur über die rein deskriptiven Verhältnisse des Augenpigmentes berichtet werden soll, sei über seine Entwicklung nur soviel erwähnt, wie zum Verständnis der rein morphologischen Darstellung notwendig ist und zu einer falschen Beschreibung derselben geführt hat.

Nach Bildung des Augenbechers besteht das äußere Blatt des Bechers aus hohen, zylindrischen Zellen, deren Protoplasma durch die ganze Dicke der Wandung hindurch reicht und deren Kerne in zwei bis drei Reihen übereinander liegen. Wie wir durch die Untersuchungen von R. Seefelder wissen, sind die ersten Pigmentspuren bei 6,25 bis 6,5 mm langen Embryonen sowohl in Stäbchen als in Kugelform in der Nähe des dorsalen Becherrandes nachzuweisen, und zwar finden sie sich von Anfang an stets sowohl in der basalen als in der freien Zellseite vor, überwiegen aber in der freien Seite entschieden an Menge. Die Pigmentierung schreitet dann rasch sowohl nach dem Becherrand als auch nach dem Augenblasenstiel vor und ist schon bei einem 8,75 mm langen Embryo auf das ganze äußere Blatt des Augenbechers ausgedehnt. Die Pigmentverteilung gestaltet sich dann in

der Weise, daß in den Zellen vom Augenbecherrand bis zum aequator bulbi die Hauptmasse des Pigments in der freien (inneren) Zellseite aufgestellt ist, wogegen es in den weiter stielwärts gelegenen Abschnitten auf beide Zellhälften in ziemlich gleichmässiger Weise so verteilt ist, daß die Kernregion ganz pigmentlos erscheint Die Pigmentbildung ruht aber nicht eher, bis die ganze Zelle mit Pigment vollgestopft und der Kern ganz davon verdeckt ist. Die Pigmentzelle erhält während dieser Zeit eine ganz flache endothelähnliche Gestalt, die erst nach der Geburt wieder so hoch wird, daß sie niedrig-zylindrisch oder kubisch genannt werden kann. Bemerkenswert ist, daß in der oben genannten Genese des Fuscinpigments das Pigment des Ciliarkörpers und der Iris eine Ausnahme bildet und, wie wir unten sehen werden, auch im Auge des erwachsenen Organismus eine andere Gestalt hat, als das des übrigen Pigmentepithels. Durch Krückmann wissen wir nämlich, das die Fuscinkörperchen dieser Region früher auftreten, als in den anderen Augenpartien. Ausserdem sollen nach den Beobachtungen die v. Szily beim Hühner- und Kaninchenembryo machte, die stäbchenförmigen Pigmentkörner angeblich aus Chromatinbestandteilen des Kerns hervorgehen, während er dies bei dem Fuscinpigment des Ciliarkörpers und der Iris nicht beobachten konnte. Eine besondere Eigenart in der Entwicklung der Pigmentepithelzelle ist vielleicht noch die Erscheinung der direkten Kernteilung, die sonst unter normalen Verhältnissen sehr selten vorkommt und sich meistens auf alternde Zellen beschränkt.

Die ältesten Stadien, in denen Seefelder Mitosen nachweisen konnte, hatten eine Länge von 80 bis 85 mm. Später, und besonders bei Föten des fünften Monats, fanden sich aber so zahlreiche zwei- bis vierkernige Zellen mit Kernauswüchsen- und einschnürungen vor, daß man vielleicht an eine amitotische Teilung denken kann. Besonderer Erwähnung in der Pigmententwicklung bedarf noch die Beobachtung von Scherl, daß ein direktes Abhängigkeitsverhältnis zwischen der Nähe des Gefäßstammes und der ersten Pigmententwicklung zu konstatieren ist, was später noch von den verschiedensten Autoren bestätigt wurde. Daß diese letztgenannte Beobachtung dazu führte, das Fuscin lediglich als ein Derivat des Blutfarbstoffs aufzufassen, ist erklärlich. Gegen diese auch zum Teil von ganz modernen Ophthalmologen noch vertretene Anschauung spricht jedoch die Tatsache, daß die Erythrocyten oder die Normoblasten niemals Fortsätze haben, die zwischen die Epithelien hineinragen, daß weder innerhalb noch ausserhalb der benachbarten Gefäßlumina je ein Zerfall der roten Blutkörperchen beobachtet wurde, und daß die Augen vieler wirbelloser Tiere, sowie auch die Wirbeltieraugen entsprechenden Pigmentflecken im Centralnervensystem des Amphioxus Pigmentierung zeigen, obwohl diese Tiere keinen roten Blutfarbstoff besitzen. Die Behauptung Ehrmanns wonach Melanin und Fuscin deshalb das gleiche Pigment sein soll, weil sie von den gleichen mesodermalen, sogenannten »Melanoblasten«, abstammen sollen, entbehrt jeder entwicklungsge-

schichtlichen Begründung. Die Retinalpigmentzellen desjenigen Stadiums, in dem sie noch flach erscheinen und wo ihre Konfiguration noch Aehnlichkeit mit den Hautmelanoblasten zeigt, liegen nach den verschiedensten Beobachtungen in so regelmässiger Anordnung nebeneinander, dass sie sich ohne weiteres als gleichmässig pigmentierte Lamelle von der ungleichen Pigmentverteilung der Hautdecke abheben. Dazu kommt noch, dass häufig das Auge schon reichlich pigmentiert ist, während sich in der nächsten Augenumgebung erst spärliches Pigment auffinden läßt. Ausserdem hat Krückmann in 53 Präparaten von Embryonen keinerlei Zellen finden können, die den Melanoblasten ähnlich sein könnten.

Neben dieser kurzen Zusammenstellung der wichtigsten direkt irrigen und falschen Darstellungen über die Pigmentverhältnisse des Auges begegnen wir in der Literatur noch einer großen Anzahl von Ungenauigkeiten. In den meisten Werken finden wir eine sehr mangelhafte Unterscheidung des Pigmentes des stratum pigmenti retinae einerseits und des stratum pigmenti corporis ciliaris andererseits. Der in sehr vielen Hand- und Lehrbüchern der Ophthalmologie und selbst auch in vereinzelten, namentlich kleineren, Büchern der Histologie sowie der in manchen pathologisch-histologischen Abhandlungen gebrauchte Name »retinales« Pigment ist, wie oben bereits angedeutet, sehr ungenau. Die Retina führt nämlich nur in ihrem iridischen Abschnitt Pigment, während das übrige Pigmentepithel nicht

zur eigentlichen Netzhaut gehört, sondern eine eigene Schicht, das »Pigmentepithel« — das äußere Blatt des Augenbechers — darstellt.

Zur Klarstellung all dieser Ungenauigkeiten sei im Folgenden einmal eine kurze zusammenhängende Darstellung über die morphologischen Pigmentverhältnisse im menschlichen Auge gegeben. Um Fehlerquellen auszuschalten, die durch kadeveröse oder pathologische Veränderungen oder durch individuelle Eigenarten entstehen könnten, wurden die hier beschriebenen Beobachtungen u. a. an den Augen von 6 verschiedenen Justifizierten gemacht. Die Präparate wurden unmittelbar nach der Hinrichtung hergestellt und dürften somit eine gewisse Gewähr für die normalen Verhältnisse im menschlichen Auge geben.

Der Farbstoff des Auges, das Pigment, besteht aus kleinsten corpuskulären Elementen. Bei stärkerer Vergrösserung kann man feststellen, daß die Form der Pigmentkörnchen in den einzelnen Augenhäuten eine verschiedene ist. In der äußeren, soweit es hier überhaupt vorhanden ist, und in der mittleren Augenhaut ist es ein überaus feinkörniges Pigment während seine Gestalt in der inneren Augenhaut viel prägnanter ist. Denn hier tritt es in Form deutlicher kleiner

Klümpchen oder Stäbchen auf. Die alten Aerzte glaubten in dem Farbstoff des Auges, dem «Pigmentum nigrum oculi,« einen für das Schorgan spezifischen »schleimigen« Stoff zu sehen. Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts weiß man jedoch, daß der tunica externa und media, mit dem der äußeren Haut identisch ist, und bezeichnet ihn, wie eingangs erwähnt, als Melanin, den der tunica interna seit Kühne als Fuscin. Das Pigment der inneren Augenhaut findet sich hauptsächlich in dem äusseren Blatt des sekundären Augenbechers, dem Pigmentepithel. In dem inneren Blatt ist es nur in dem vordersten, der Irishinterfläche anliegenden Abschnitt vorhanden. Hier, wie überhaupt in dem ganzen zur spars caeca retinae gehörigen Teil, sind die Zellen des inneren Becherblattes einfach epithelial und (im Bereiche der Iris) von demselben Pigment erfüllt, wie die Zellen des Pigmentepithels, während der übrige eingestülpte Teil der primären Augenblase aus relativ dickem nervösen Gewebe besteht, das selbst keinen Farbstoff mehr enthält. Dieser also nur zur pars iridica retinae gehörige pigmenthaltige Teil der eigentlichen Netzhaut überzieht die Hinterfläche der Iris bis zum Pupillarrand, wo die pars iridica retinae in das Pigmentepithel umbiegt und mit diesem zusammen die sogenannte Pigmentschicht der Iris bildet. Die Hinterfläche der Iris ist also von einem doppelten pigmentierten Epithel überzogen. Es handelt sich um ein zylindrisches, stellenweise hochzylindrisches, Epithel, dessen Zellen relativ kleine und basal gelegene Kerne tragen. Der Zelleib ist mit Fuscinpigmentschollen völlig erfüllt,

welche die gleiche Grösse und Form besitzen, wie die unten zu beschreibenden in dem stratum pigmenti partis caecae retinae vorhandenen Fuscinklümpchen, sodaß Kerne und Zellgrenzen erst sichtbar werden, wenn man depigmentiert. Das Epithel bildet zirkuläre Falten, die bei kontrahierter Iris, also bei weiter Pupille, höher sind, bei enger Pupille mehr oder weniger verstreichen. Durch dieses zur pars iridiaca retinae gehörige, pigmenthaltige Epithel wird in erster Linie die dunkle Farbe der Irishinterflächen bedingt, ausserdem dann allerdings auch noch durch die stärkere Höhe und den stärkeren Pigmentgehalt der zum Pigmentepithel gehörigen Zellen. Die Höhe des Epithels nimmt gegen den Pupillarrand hin zu, sodaß die hintere Pigmentschicht der Iris hier weit dicker ist, als an der Iriswurzel. Das äussere Blatt des sekundären Augenbechers, das Pigmentepithel, daß das »Sehrot« erzeugen soll — eine Substanz die nach Merkel nur die Aussenglieder der Stäbchen, nicht die Zapfen durchtränkt, — zeigt sowohl in Bezug auf seine Zellen als auch auf die morphologische Form des Pigments in den verschiedenen Teilen der Netzhaut Unterschiede. Wir unterscheiden deshalb nicht nur rein regionär, sondern auch ihrem mikroskopischen Verhalten nach den zur pars optica zugehörigen Teil, das stratum pigmenti partis opticae ritinae, oder kurz das stratum pigmenti retinae, und den zur pars caecae gehörigen Teil, das stratum pigmenti partis caecae retinae. Letzterer zerfällt wieder in den hinter dem corpus ciliare gelegenen Teil, das stratum pigmenti corporis ciliaris, und in den hinter der Iris gelegenen

Teil das stratum pigmenti iridis. Das stratum pigmenti retinae stellt ein einschichtiges, kubisches Epithel dar, das unmittelbar an die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen angrenzt. Obgleich das Pigmentepithel diesen innig anliegt, löst es sich doch leicht von den Stäbchen und Zapfen ab, während es relativ fest auf der Bruch'schen Membran der Chorioidea aufsitzt. Von der Fläche gesehen, stellt es ein zierliches Mosaik von Polygonen vorwiegend sechsseitiger Form dar, deren durchschnittlicher Durchmesser 12—18 Mikren beträgt, während der vereinzelt ovale, meist jedoch rundliche, fast kugelige Kern, der im ungefärbten Objekt wie eine farblose Lücke erscheint, ungefähr 5—7 Mikren mißt. Doch fallen stets auch fünf und besonders siebeneckige Zellen auf. Die siebeneckigen und besonders große sechseckigen Zellen, die durchschnittlich eine Größe von 20—30 Mikren haben, finden sich zwischen den kleineren eingestreut namentlich gegen die ora serata hin. Die Lage des Kerns ist immer eine derartige, daß er in der pigmentärmeren, scleralren, d. h. also der Chorioidea zugewandten Zone der Zelle seinen Platz hat. Sehr deutlich sind die Zellgrenzen, da eine stets pigmentfreie, kittsubstanzartige, stark lichtbrechende Zone die pigmentierten, nicht durch Intercellularbrükken verbundenen, Zelleiber trennt. Man hat diese Kittsubstanz auch als Neurokeratin deuten wollen, obwohl der sichere Beweis für die Identität mit dem Stoff, der das äusserst feine Gerüst für das Myelin der markhaltigen Nervenfasern bildet, noch aussteht. Diese feste Kittsubstanz, die Koelliker mit Schluß-

steinen von Zylinderepithelien vergleicht, überzieht auch die Kuppe derEpithelzellen wie ein Hut »(Kuhnt'sche Hütte«), wodurch ein wesentlicher Unterschied gegenüber sonst vorkommenden Kittleisten besteht. Im Profil erscheinen die Zellen rechteckig und tragen an der Innenseite zahlreiche, feine protoplasmamatische Fortsätze. Das Pigment selbst, das vorzugsweise den vitralen, d. h. den Stäbchen und Zapfen zugewandten Teil der Zelle erfüllt, hat im Gegensatz zu den punktförmigen, feinen Melaninkörnchen die Gestalt von kurzen Stäbchen oder Nadeln, die bei einer Dicke von etwa 1 Mikron eine Länge von 3 bis 4 Mikren haben. Sie liegen dichtgedrängt in den verschiedenartigsten Stellungen regellos durcheinander im Zelleib. Dieses Pigment zeigt, wie zuerst von Boll am Auge des Frosches festgestellt wurde, eine ausgesprochene Phototropie, indem es am belichteten Auge nach innen wandert und Fortsätze der Pigmentzellen bis an die membrana limitans externa erfüllt. Also die ganze Dicke der Stäbchen und Zapfenschicht einnimmt, während er im Dunkelauge sich auf den äusseren kernhaltigen Teil der Zelle zurückzieht. Hierbei fällt besonders auf, daß die Fuscinnadeln in den Fortsetzen zwischen den Sehzellen stets den Stäbchen parallel gerichtet sind. Nach Koelliker beruht diese Wanderung der Fuscinnadeln nicht etwa auf dem Ausstrecken oder Einziehen der Protoplasmafortsätze der Pigmentzellen, sondern auf Eigenbewegungen der Fuscinnadeln innerhalb der fixen Fortsätze. Diese sogenannte Lichtstellung wird auch bei Belichtung nur eines Auges reflektorisch auf das Pigmentepithel des anderen übertragen, was von

Ewald und Kühne als »Consensuelle Lichtstellung« bezeichnet wurde. Zerstört man jedoch das Gehirn oder den Sehnerven und hebt somit die nervöse Verbindung beider Bulbi auf, so zeigt nur der belichtete Bulbus Lichtstellung, der unbelichtete Dunkelstellung. Wieweit auch noch andere Reize Pigmentwanderungen im Pigmentepithel des Auges hervorrufen können, ist noch nicht völlig geklärt und soll in dieser rein morphologischen Betrachtung nicht erörtert werden. Im Bereich der fovea centralis nehmen die Pigmentzellen an Höhe zu und sind schmäler als in den übrigen Netzhautgebieten, während sie in der Nähe der ora serata breiter werden und sich hier auch hauptsächlich die oben erwähnten unregelmässigen und mehrkernigen Zellen finden.

In den kleineren, in der Nähe der fovea centralis gelegenen Zellen ist das Fuscin fast ausschließlich in Stabform oder beiderseits zugespitzten Gebilden vorhanden. In den weiter von der fovea entfernt liegenden Zellen findet man neben den Nadeln auch vereinzelte dickere und kürzere Fuscinklümpchen, die in den der ora serata näher liegenden Pigmentepithelzellen immer mehr zunehmen. Schließlich überwiegen sie an Zahl die nadelförmigen Pigmentformen und führen so ganz allmählich zu dem nur aus Klümpchen bestehenden Fuscinpigment der pars caecae retinae über. Hier erscheint das Pigment, wenn es auch Fuscinpigment ist, nicht mehr nadelförmig, wie in dem retinalen Bereich der Schicht, sondern in Gestalt unregelmässig kugeliger Schollen von wechselnder

Grösse. Allerdings sind die Klumpen stets relativ grob, wechseln in ihrer Dicke und Länge ungefähr zwischen zwei und sieben Mikren und sind nie in Gestalt so feiner Pünktchen vorhanden, wie etwa das Melaninpigment. Außer der Pigmentform, die also keineswegs etwa an der ora serata scharf in die andere Gestalt übergeht, unterscheidet sich das stratum pigmenti corporis ciliaris aber auch sonst nicht unwesentlich von dem stratum pigmenti retinae der pars optica. Die Zellen sind zunächst höher, hochkubisch bis niedrigzylindrisch. Das schollenförmige Pigment, das relativ viel reichlicher ist, als in den Zellen des stratum pigmenti retinae, erfüllt die ganze Ausdehnung des Zelleibs, sodass weder die Zellgrenzen noch der Kern sichtbar werden, sondern beide erst nach Depigmentierung deutlich erkannt werden können. Natürlich fehlen auch die vitralen Fortsätze, da an der dem Glaskörper zugewandten Fläche das zylindrische Epithel der pars caeca retinae unmittelbar anliegt. Schließlich liegt der Kern nicht wie in dem retinalen Teil der Pigmentzellen in der scleralen, also der Aderhaut zugewandten Zone, sondern im Zentrum der ganz mit Pigment erfüllten Zelle. Auf der Höhe der Ciliarfortsätze sind die Pigmentkörnchen spärlich oder fehlen streckenweise unter Umständen ganz. Besonders auf dem Firste der Leisten werden die Zellen so pigmentarm, dass namentlich auch bei sonst pigmentarmen Individuen hier allein im ganzen Gebiet des Pigmentepithels völlig pigmentfreie Zellen vorkommen können. Im Bereich des orbiculus ciliaris stellt das Pigmentepithel keine einfa-

che Schicht dar, sondern senkt sich in Gestalt zahlreicher, knospenartiger aber netzförmig zusammenhängender Ausbuchtungen in die bindegewebige Grundschicht des Ciliarkörpers hinein und bildet so das sogenannte »Müller'sche Reticulum.«

Nach Sobotta führt diese eigenartige Anordnung des Pigmentepithels zu einer festen Verankerung der Wandung des Augenbechers, also der inneren mit der mittleren Augenhaut, sodaß der in letzterer gelegene Ciliarmuskel auf diese Weise auf die Zonulafasern wirken kann, die von den Zellen der pars ciliaris retinae entspringen.

Wiederum abweichend gestaltet sich das stratum pigmenti iridis, wenn es auch in Bezug auf Gestalt und Anordnung dem Pigmentepithel des Ciliarkörpers ähnelt. Die Form des Fuscinpigments ist die gleiche wie im stratum pigmenti corporis ciliaris, wenn man auch im iridicalen Teil des Pigmentepithels stets nur klümpchenförmige Fuscinschollen findet. Im ciliaren Teile des Pigmentepithels kann man dagegen bei einigen Menschen noch vereinzelte Nadeln sehen, während man bei andern Individuen schon vor der ora serata nur Klümpchen findet. Die Gestalt der Zellen wird im stratum pigmenti iridis wieder etwas niedriger. Die Zellen sind plattkubisch; Zellgrenzen und Kerne sind von den unregelmässig-kugeligen Pigmentschollen ganz überdeckt. Die Kerne liegen in der hinteren, also der pars iridica retinae zugewandten, Zone der Zellen, die auch die Hauptmasse des Pigments enthält. Der vordere Bereich der Zellen ist zwar nicht völlig frei von Pigment, aber doch relativ

pigmentarm. Zellgrenzen sind im Bereich des stratum pigmenti iridis nicht zu erkennen, sodass die ganze Schicht gewissermassen syncytialen Charakter trägt. Weiter läßt diese Zone des Epithels — was meist allerdings erst nach Depigmentierung sichtbar wird — einen deutlichen fibrillären Bau erkennen; es handelt sich hier um die auch heute noch von manchem Autoren bestrittene Dilatatormembran, die also die Umwandlung einer partiellen Zone einer sonst noch typischen Epithellamelle in glatte Muskulatur darstellt. Einzelne pigmentierte Zellen des Epithels finden sich sehr häufig als unregelmäßig gestaltete Elemente im Irisstroma, namentlich in der Gegend des musculus sphincter pupillae, versprengt und führen hier den Namen »Klumpenzellen der Iris.« Das Pigmentepithel der Iris reicht bis zum Pupillarrand, biegt hier als stark pigmentierter Rand des Augenbechers in die pars iridica retinae um und kleidet so die ganze Länge des ganz kurzen eigentlichen Kanals der Pupille aus.

Während man also das Pigment der tunica interna bulbi, das Fuscin, stets in Form von Nadeln oder klumpenartigen Schollen findet, besteht der Farbstoff der mittleren Augenhaut, das Melanin, wie der der Epidermis aus kleinsten Teilchen, man möchte fast sagen, aus mikroskopisch feinsten Stäubchen. Das dunkelbraune bis schwarze Melanin ist in seiner Farbe nicht so konstant, wie das Fuscin. Meistens zeigt es sich etwas dunkler als letzeres, kann jedoch auch in brauner, ja sogar in noch hellerer Farbe als der Farbstoff der inneren Augenhaut erscheinen. Im allgemeinen

ist die Menge und Dunkelheit des Melanins von der Gesamtpigmentierung des betreffenden Individuums abhängig, doch kommt in einzelnen Fällen auch eine ausgesprochene Ingongruenz zwischen der Pigmentierung der Augen und der des übrigen Körpers vor. Der wichtigste anatomische Unterschied der beiden im Auge vorkommenden Farbstoffe ist jedoch die verschiedene Größe der einzelnen Pigmentkörperchen. Das Melanin ist bedeutend kleiner als das Fuscinkörnchen, ist höchstens halb so gross und misst ungefähr 0,8 bis 1 Mikron. Außerdem sind die Melaninkörperchen annährend alle gleich groß und treten nicht wie die Fuscinschollen in teils größeren, teils kleineren mehr oder weniger unregelmässigen Formen auf. Das Fuscin hat, soweit es nicht in Form von Nadeln auftritt, meist die Gestalt von kleinen Kugeln oder besser gesagt, von regelmässigen und unregelmäßigen Scheiben oder Klumpen, wogegen die Melaninkörperchen stets als feine Punkte imponieren.

Das Melanin findet sich innerhalb des Uvealtractus besonders in der Chorioidea und in der Iris, während das gleichfalls zur mittleren Augenhaut gehörige corpus ciliare relatio pigmentarm ist. In der Aderhaut finden wir den Farbstoff in der lamina vasculosa, der sogen. Chorioidea propria. Hier liegen die größeren, nicht kapillaren Gefäße der Aderhaut in einem bindegewebigen Stroma eingebettet, das neben reichen, feinen elastischen Fasern und relativ geringen kollagenen Bindegewebsbündeln in der grössten Mehrzahl aller Fälle eine Reihe pigmentieter Zellen enthält. Allerdings kommen neben diesen

melaninhaltigen häufig auch noch platte, nicht pigmentierte, endothelähnliche Zellen vor. Die lamina choriocapillaris ist im Gegensatz zur lamina vasculosa pigmentfrei. Dagegen enthält die scleralwärts von der Chorioidea gelegene, vielfach noch zu ihr gerechnete Membran, die sogenannte Suprachorioidea wiederum soviel Pigment, daß man sie ihrer braunen Farbe wegen auch als lamina fusca sclerae bezeichnet hat. Sie besteht aus lockerem pigmentiertem Bindegewebe und enthält besonders pigmentreiche plumpe und platte Bindegewebszellen,die nur mit wenig zahlreichen Fortsätzen anastomosieren.

Von der Regenbogenhaut gehört nur das Endothel der vorderen Augenkammer und das stratum proprium iridis zur tunica media bulbi, während die Brug'sche Membran und die Pigmentschicht der Iris zur tunica interna gehören. Da das Endothel frei von allen Farbstoffen ist, finden wir das Melanin also nur in dem stratum proprium iridis. Welch grosse individuelle Verschiedenheit sowohl in der Farbe wie in der Menge des Pigments in diesem Augenteil besteht sieht man schon makroskopisch am lebenden Auge ; von der dunkelbraunen, fast schwarzen Iris bis zur ganz hellblauen Regenbogenhaut gibt es die manigfachsten Uebergänge. Das stratum proprium iridis zerfällt in zwei verschiedene, ohne scharfe Grenze in einander übergehende, Abteilungen, die reticuläre Schicht, oder auch vielfach vordere Genzschicht genannt, und in die hintere Gefäß- und Muskelschicht. Die reticuläre Schicht besteht aus relativ wenigen kollagenen Bindegewebsfasern und aus dichten Bindege-

webszellagen. Diese Zellen bilden Netze und sind zum Teil, namentlich bei Augen mit dunkler Iris, ebenso wie die Zellen der Gefäßschicht pigmentiert und oft sogar sehr stark pigmentiert. Die Gefäß- und Muskelschicht besteht konstant aus pigmentierten Bindegewebsmassen, aus zahlreichen Gefäßen und stellenweise auftretender glatter Muskulatur. Von der Farbe und der Menge des Pigments dieser in der Gefäß- und Muskelschicht vorkommenden teils grösseren, teils kleineren Bindegewebszellen, hängt die Farbe der Iris ab. Bei dunkleren Augen, oder genauer gesagt, bei dunkler Iris findet man stark pigmantierte, bei hellen Augen dagegen nur sehr wenig pigmentierte Zellen, sodaß wir je nach der Melaninfarbe- u. menge alle Uebergänge von dunkelbrauner zur hellbrauner. grauer, od. grünl. Regenbogenhaut haben. Bei völligem Fehlen des Pigments erscheint die Iris blau, weil die stets bestehen bleibende Pigmentschicht der Irishinterfläche durch die halbdurchsichtigen vorderen Irisschichten durchschimmert, was Blaufärbung verursacht. Neben den pigmentierten Zellen, den sogenannten Chromatophoren, kommen in der Regenbogenhaut, selbst auch bei brauner Iris noch eine Reihe unpigmentierter verzweigter Zellen vor, die für die Irisfarbe natürlich keinerlei Bedeutung haben.

Die äußere Augenhaut ist, wie oben bereits angedeutet, ausserordentlich pigmentarm. Die Cornea ist stets völlig melaninfrei und die Sclera enthält es fast nur in der von vielen Autoren zu ihr gerechneten lamina suprachorioidea. Diese, vielfach als innerste Schicht der Sclera aufgefasste, wegen ihrer braunen

Farbe lamina fusca genannte Membran besteht aus relativ lockerem Bindegewebe mit vielen elastischen Fasern ; ferner aus zahlreichen plumpen und nur wenig verästelten, platten, pigmentierten Bindegewebszellen, sowie noch aus pigmentfreien, platten, endothelähnlichen Zellen. In der eigentlichen Lederhaut findet man im allgemeinen nur sehr spärlich Pigmentzellen. Bei pigmentierten Rassen kommen sie, jedoch hier viel häufiger als beim Europäer vor. Sie finden sich dann hauptsächlich in der Gegend des Sehnerveneintritts und des sogenannten Scleralwulstes, d. h. der leichten, ringförmigen Verdickung des vorderen Teils der Sclera an der Ansatzstelle des Ciliarmuskels.

Zum Schluß ergibt eine kurze Zusammenfassung der morphologischen Farbstoffverhältnisse im Auge also folgendes Bild:

Es gibt im Sehorgan zwei Pigmentformen. In der mittleren und in der äußeren Augenhaut das Melanin (beim Europäerauge jedoch in der letzteren selten und nur sehr wenig), in der inneren das Fuscin. Beide betstehen wie fast allePigmenten aus kleinen corpuskulären Elementen. Die Melaninkörnchen sind : 1) punktförmig, d. h. sie haben die Gestalt ganz kleiner Kugeln 2) viel kleiner — höchstens halb so groß — wie die Fuscinschollen und 3) alle von gleicher Größe und Gestalt. Das Melanin erfüllt stets die ganze Ausdehnung des Zelleibs ganz gleichmässig. Der Grad der Pigmentierung, die es hervorruft, hängt ab: 1) von der Zahl der Zellen, 2) von der Intensisität der Farbe. Der Farbton des Melanins schwankt von hellbraun bis schwarzbraun und fast schwarz.

Das Fuscin tritt in Form von Nadeln oder kleinen Klümpchen auf. Je nach der Lokalisation als stratum pigmenti retinae einerseits oder als stratum pigmenti corporis ciliaris, bezw. iridis, in der pars iridiaca retinae, andererseits zeigt es wiederum Unterschiede in Form und Anordnung. Im stratum pigmenti retinae ist es überwiegend nadelförmig-kristalloid, in dem zur pars caeca gehörigen Teil des Pigmentepithels grobkörnig. Der Uebergang in die beiden Fuscinformen an der ora serata ist ein ganz allmählicher. In beiden Teilen tritt es im Gegensatz zu den Melaninkörnchen in verschieden großen Formen innerhalb derselben Zelle auf. In dem stratum pigmenti retinae sind die Zellgrenzen pigmentfrei. Außerdem liegt das Pigment vorzugsweise im retinalen Teil der Zellen, sodaß hier also ein Teil der Zellen pigmentfrei ist, eine Erscheinung, die weder bei Melaninpigmentzellen noch bei den übrigen Fuscinpigmentzellen vorkommt. In dem zu pars caeca gehörigen Teil des Pigmentepithels sind die Zellen ganz mit Pigment erfüllt wie bei Melaninpigmentzellen und die Zellgrenzen sind durch die Ueberlagerung des Farbstoffes kaum zu erkennen.

Im Bereich des stratum pigmenti retinae kommen vereinzelt neben der Nadelform auch grobkörnige Pigmentbestandteile vor; deren Zahl um so größer ist, je näher wir der ora serata kommen, sodaß bereits eine kurze Strecke vor dieser Pigmentschicht Stäbchen fehlen. (Also noch im Bereich des stratum pigmenti retinae). Bei allen übrigen Fuscinpigment-

zellen fehlen Pigmentnadeln neben dem grobkörnigen Pigment völlig.

Es bestehen also zwischen den beiden Pigmentarten, die im menschlichen Auge vorkommen dem Melaninpigment einerseits, dem Fuscinpigment andererseits erhebliche, zum mindesten morphologische Unterschiede, die bisher nur sehr selten richtig gewürdigt worden sind.

Am Schlusse meiner Abhandlung gereicht es mir zur Ehre, Herrn Prof. Dr. S o b o t t a für die Anregung der Arbeit, für die Ueberlassung der Präparate und vor allem für die gütige Unterstützung bei meinen Untersuchungen meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

LITERATUR-VERZEICHNIS.

Angstein, Karl. »Pigmentstudien am lebenden Auge« Klin. Monatsblätter für Augenheilkunde 1912.

Aschoff, L. Lehrbuch der pathologischen Anatomie 1923.

Axenfeld, Th. Lehrbuch der Augenheilkunde 1919.

v. Bardeleben u. Mitarbeiter. Handbuch der Anatomie des Menschen 1896/1916.

Böhm, A. Histologie des Menschen 1898.

Bock, E. Handbuch der Anatomie des Menschen 1838.

Boll, J. »Zur Anatomie u. Physiologie der Retina« »Physiologie des Sehens u. d. Farbenempfindung«. Monatsber. der Pr. Akad. der Wissensch. 1876/77.

Brückner, A. und Meisner. Grundriß der Augenheilkunde 1929.

Deckner, K. »Relation of color of hair and eyes to constitution« Zeitschr. f. d. ges. Anat. 1913.

Ehrmann. »Das melanotische Pigment und die pigmentbildenden Zellen des Menschen und der Wirbeltiere in ihrer Entwicklung nebst Be-

merkungen überBlutbildung und Haarwechsel« Bibliotheca medica Abtlg. D. II. 1896.

Frey, Heinr. Histologie und Histochemie 1876.

v. Frisch. »Studien über Pigmentverschiebung im Facettenauge. Biol. Centralbl. 1908.

Fuchs, A. »Derivate der Plasmazellen im Auge« Arch. f. Ophth. 1920.

Fuchs, Ernst. »Ueber retinale Pigmentzellen im Irisstroma«

— Lehrbuch der Augenheilkunde 1922.

Gerlach. Jos. Gewebelehre 1854.

Fujita, H. »Pigmentbewegung und Zapfenkontraktion im Dunkelauge des Frosches bei Einwirkung verschiedener Reize« Arch. f. vergl. Ophth. Leipzig 1911.

Graefe-Samisch. Handbuch der ges. Augenheilkunde 1898/1926 II. Aufl.

Hartmann, Rob. Handbuch der Anatomie des Menschen 1881.

Hempel, A. F. Anfangsgründe der Anatomie des gesunden menschlichen Körpers 1827.

Henle, J. Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen 1871ff

Hermann. Handbuch der Physiologie 1879.

Heß, C. »Beiträge zur Kenntnis regionärer Verschiedenheiten der Netzhaut und des Pigmentepithels in der Wirbeltierreihe« Arch. f. vergl. Ophth. 1911.

Hildebrandt, Fr. Lehrbuch der Anatomie des Menschen 1893.

Hoëg. »Gruppierte Pigmentation des Augengrundes Kl. Monatsbl. für Augenheilkunde 1911.

Howland. »Migration of retinae Pigment in eyes of Branchipus gelidus« J. Exper. Zool. Philadelphia 1911.

Hyrtl. Lehrbuch der Anatomie des Menschen 1887.

Klein, E. Grundzüge der Histologie 1890.

Koelliker, A. Handbuch der Gewebelehre des Menschen 1902.

Koeppe, L, Die Mikroskopie des lebenden Auges 1920.

Kolmer. »Histologie der Augenhäute« Anat. Anz. 1914.

Kraupa. »Morphologie des Augenhintergrundes« Arch. f. Ophth. 1921.

Kraus, L.A. Mediz. Lexikon 1844.

Krause, R Kursus der normalen Histologie 1911.

Krause W. Handbuch der menschl. Anatomie 1876.

Krückmann, E, »Anatomisches über die Pigmentzellen der Retina« Graefes Arch. f. Ophth. 1899.

Kühne. W. Untersuchungen aus dem Physiologischen Institut der Univ. Heidelberg 1878.

Landois—Rosemann. Lehrbuch der Physiologie des Menschen 1923.

Leydig, Fr. Lehrbuch der Histologie 1857.

Meirowsky, E. Ueber den Ursprung des melanotischen Pigments der Haut und des Auges, 1908.

Merkel, Fr. Die Anatomie des Menschen 1913/27.

Merkel—Henle Grundriß der Anatomie des Menschen 1901 IV. Aufl.

Miescher. »Melaningenese im Auge der Wirbeltiere« Schweiz. med. Wochenschrift 1921.

— »Pigmentgenese im Auge. Bemerkungen über die Natur des Pigmentkorns«. Klin. Wochenschrift 1922 und Arch. f. mikrosk. Anat. 1923.

Müller, L. »Ueber Entfärbung von Pigment in mikrosk. Schnitten« Klin. Monatsbl. für Augenheilk. 1902.

Münch, U. »Die anatomische Grundlage der Irisfarbe«. Münchn. med. Wochenschr. 1925.

Orth, J. Cursus der normalen Histologie 1884.

Rauber—Kopsch. Lehrbuch der Anatomie des Menschen 1823.

Riddle u. La Mer. »Postmorten melaninpigment formation in pigmentless retinas and chorioids of white ring dowes« Am. J. Physil. Baltimor 1918.

Römer, P. Lehrbuch der Augenheilkunde 1923.

Ruette, Th. Lehrbuch der Ophthalmologie 1858.

Schaffer, J. Lehrbuch der Histologie und Histogenese 1922.

Schauenburg, K. H. Ophthalmiatrik 1870.

Scherl. »Einige Untersuchungen über das Pigment des Auges« »v. Graefes Arch. f. Ophth. Bd. 39.

Schein, A. »Excessive Pigmentierung am Menschenauge« Beiträge z. Augenheilkunde. 1905.

Schieck, F. Grundriß der Augenheilkunde 1922.

Sobotta, J. Lehrbuch der Histologie und mikroskopischen Anatomie des Menschen 1929.

Stöhr, Ph. Lehrbuch der Histologie und mikroskopischen Anatomie 1923.

Szymonowicz, L. Histologie und mikroskopische Anatomie 1921.

Tandler. Lehrbuch der systematischen Anatomie 1919/29.

Toldt, K. Lehrbuch der Gewebelehre 1888.

Uyama. »Zur Pigmentbildung in dem frühembryonalen Retina—Pigmentepithel« Japan. Journ. of med. sciences 1922.

Wilbrandt—Sänger. Neurologie des Auges 1900/22.

LEBENSLAUF!

Ich wurde am 4. September 1904 zu Köln als Sohn des verstorbenen Oberstleutnant Theodor B i n h o l d geboren. Meinen ersten Unterricht erhielt ich durch eine deutsche Privatlehrerin in Ersindjan (Kleinasien). Später besuchte ich die deutsche Schule in Konstantinopel. Von 1915 bis 1919 war ich im Preußischen Kadettencorps in Bensberg und in Karlsruhe. Danach besuchte ich das Städtische Realgymnasium zu Köln-Lindenthal, wo ich Ostern 1924 das Abiturientenexamen bestand. Sodann studierte ich Medizin an den Universitäten Bonn, Tübingen, Berlin und Köln. Die ärztliche Vorprüfung bestand ich am 6. März 1926 an der Universität Bonn, die ärztliche Staatsprüfung am 17. Juni 1929 an der Universität Köln. Seit dem 15. Juli 1929 bin ich als Medizinal-Praktikant am Städtischen Hospital Köln-Deutz tätig.